

THESIS

MUNICH

1968

Die Perspiratio insensibilis
bei Luftfeuchten unweit
des Wasserdampfdruckes
der Hautoberfläche

LANE MEDICAL LIBRARY
STANFORD UNIVERSITY
MEDICAL CENTER
STANFORD, CALIF. 94305

CLAUDIA TILL



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153307_0211

Aus dem
Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie
der Universität München
Direktor: Prof.Dr.med.H.v.Braunbehrens

DIE PERSPIRATIO INSENSIBILIS
BEI LUFTFEUCHTEN UNWEIT DES WASSERDAMPFDRUCKES DER
HAUTOBERFLÄCHE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München
vorgelegt von

Claudia T i l l
aus München

München 1968

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München:

Berichtersteller: Priv.-Doc.-Dr. H. Drexel
Mitberichtersteller: Prof. Dr. H. von Braunbekrens
Dekan: Prof. Dr. F. Holle
Tag d. mündl. Prüfung: 31.7.68

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A. Einleitung	3
B. Literaturübersicht	4
C. Problemstellung	6
D. Methodik	
I. Meßprinzip	8
II. Meßapparatur	10
III. Versuchsanordnung	12
IV. Versuchsbedingungen	18
E. Eigene Untersuchungen und Ergebnisse	
I. Versuchsplan	19
II. Ergebnisse	20
F. Diskussion	
I. Methodik	26
II. Besprechung der eigenen Ergebnisse	28
III. Gegenüberstellung der eigenen Ergebnisse mit der Literatur	32
G. Zusammenfassung	37
H. Literaturverzeichnis	38

A. EINLEITUNG

Alle bisherigen Untersuchungen über die Permeation von Stoffen durch die menschliche Haut lassen sich in einem Satz zusammenfassen: Die Haut verhält sich wie eine unspezifische Barriere, die den Durchtritt keiner Substanz vollkommen hemmt, jedoch ihrem Transport einen mehr oder weniger großen Widerstand entgegensetzt (29).

Diese Aussage trifft auch für den Durchtritt von Wasserdampf durch die Haut (Perspiratio) zu. Die Perspiratio ihrerseits trennt man in Perspiratio sensibilis und Perspiratio insensibilis. Unter der Perspiratio sensibilis verstehen wir die durch vegetative Impulse auf die Schweißdrüsen bedingte Wasserabgabe. Als Perspiratio insensibilis bezeichnen wir die ständige, nicht durch vegetative Impulse beeinflusste Wasserdampf-abgabe durch die Epidermis.

Diese Perspiratio insensibilis ist seit langer Zeit Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Jedoch ist der Mechanismus dieser insensiblen Hautwasserabgabe noch weitgehend umstritten. Zu seiner Aufklärung soll die vorliegende Arbeit beitragen.

B. LITERATURÜBERSICHT

Zur Messung der Perspiratio insensibilis wurden im Laufe der Zeit verschiedene Methoden entwickelt:

a) Gravimetrische Methoden:

THAUER, ZÖLLNER und KAUFMANN (28) bestimmten die Hautwasserabgabe nach der Ganzkörpermethode, indem sie von dem gesamten Gewichtsverlust der Versuchsperson den Gewichtsverlust durch die Lungen (CO_2 , H_2O) abzogen.

Andere Untersucher wendeten die Kapselmethode an, welche die Messung der Hautwasserabgabe kleiner Hautareale gestattet. Dabei bestimmen die verschiedenen Autoren die Hautwasserabgabe teils mit ventilierter, teils mit unventilierter Kapsel.

Einige setzten Kammern mit Wasserabsorptionsmitteln auf die Haut (REGELSBERGER u.a., 2). HEERD (14) wog das Absorptionsmittel mit Hilfe einer elektronischen Waage während des Versuches.

b) Direkte Feuchtemessung:

BUETTNER (4,5,6) entwickelte ein Verfahren, bei dem er die relative Feuchte in der Versuchskammer mit einem Haarhygrometer bestimmte. BETZ (2) und andere machten sich die Änderung der elektrischen Leitfähigkeit von Halbleitern und Leitern bei verschiedener Luftfeuchtigkeit zunutze. PIRLET (22) maß die Feuchte mit Hilfe eines Psychrometers. ALBERT und PALMES (1) benützten als erste einen Infra-Rot-Gasanalysator.

c) Tracermethoden:

Hierbei wird der Wassertransport durch die Haut mit Tritium-markiertem Wasser bestimmt (DIRNAGL, 8).

Die von den einzelnen Autoren gefundenen Ergebnisse lassen verschiedene Schlüsse auf das Wesen der Perspiratio insensibilis zu.

KAUFMANN und Mitarbeiter (18, 19), HEERD (15) und WEILER (31) fordern eine Trennung der insensiblen Hautwasserabgabe in einen glandulären und einen transepidermalen Anteil. Der glanduläre Anteil soll durch eine stark verminderte Sekretion der Schweißdrüsen bedingt sein. Man nimmt hierbei an, daß die Schweißdrüsen im thermoindifferenten Bereich eine verminderte Anzahl von nervösen Impulsen erhalten, die zu einer "Ruhesekretion" (analog dem Ruhetonus des Muskels) führen. Der transepidermale Anteil wird auf eine Diffusion von Wasserdampf durch die Epidermis zurückgeführt.

BUETTNER (6) fordert für die Perspiratio insensibilis einen physikalischen Diffusionsvorgang gekoppelt mit einem aktiven Transportmechanismus in Form einer "Pumpe", die Wasserdampf aktiv in die Haut transportiert.

Dagegen sehen KAUFMANN und LÜTTKE (18), HEERD und Mitarbeiter (15, 16) und TREGGAR (29) die Perspiratio insensibilis als einen reinen Diffusionsvorgang an.

Unabhängig vom Mechanismus der insensiblen Hautwasserabgabe sind sich sämtliche Autoren darüber einig, daß für die Größe der Hautwasserabgabe die Dampfdruckdifferenz zwischen der Haut und der Versuchsluft entscheidend ist. Den Wasserdampfdruck in der Haut setzen alle Autoren gleich dem Sättigungsdampfdruck der Hauttemperatur. Dabei wird der Temperaturabfall innerhalb des Stratum corneum von weniger als $0,1^{\circ}\text{C}$ und die Dampfdruckdepression, hervorgerufen durch die Konzentration osmotisch aktiver Substanzen der Interzellularflüssigkeit vernachlässigt (9, 17).

Die Größe der insensiblen Hautwasserabgabe wird außer durch die Dampfdruckdifferenz durch den Diffusionswiderstand bestimmt. Durch vergleichende Untersuchungen der Wasserdampfdiffusion durch die ganze Cutis und die isolierte Epidermis wurde nachgewiesen, daß der Widerstand in der Epidermis lokalisiert ist (3, 7, 29).

In der Epidermis ist es wieder eine ganz definierte Zellschicht direkt auf dem Stratum granulosum, die den Hauptwiderstand für die Wasserdampfdiffusion darstellt (6, 25, 26, 27, 29).

Die Ansichten über die Veränderlichkeit des Diffusionswiderstandes gehen stark auseinander. Die einen betrachten ihn als eine konstante Größe (15, 16, 21, 27, 29), andere Untersucher fanden eine Änderung des Widerstandes bei verschiedenen Hautfeuchtigkeiten (6, 11, 19, 32). KAUFMANN (20) will eine Änderung des Widerstandes in Abhängigkeit von der Rektaltemperatur beobachtet haben.

C. PROBLEMSTELLUNG

Für die Beurteilung des Mechanismus der insensiblen Hautwasserabgabe ist

- a) das Verhalten des Diffusionswiderstandes bei verschiedenen Wasserdampfdrücken in der Versuchsluft und
- b) der Gleichgewichtspunkt der Hautwasserabgabe von außerordentlicher Bedeutung.

Unter dem Gleichgewichtspunkt versteht man den Wasserdampfdruck in der Versuchsluft, bei dem ein Gleichgewichtszustand zwischen dem Wassertransport aus der Haut und dem in die Haut besteht. BUETTNER bezeichnet diesen Punkt analog seiner Arbeitsweise mit Änderung der relativen Feuchte als "neutral relative humidity (NRH)".

Liegt dieser Gleichgewichtspunkt beim Dampfdruck der Haut, so ist ein passiver Diffusionsvorgang anzunehmen. Liegt der Gleichgewichtspunkt nicht beim Dampfdruck der Haut, so ist ein aktiver Transport zu fordern, der den Gleichgewichtszustand entgegen einem Konzentrationsgefälle aufrechterhält (Abb. 1)

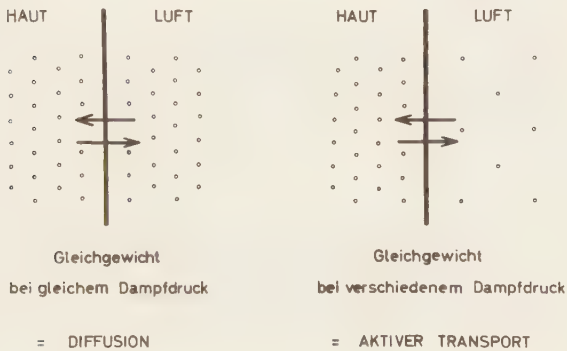


Abb. 1 Schematische Darstellung der Gleichgewichtsverhältnisse bei der Perspiratio insensibilis

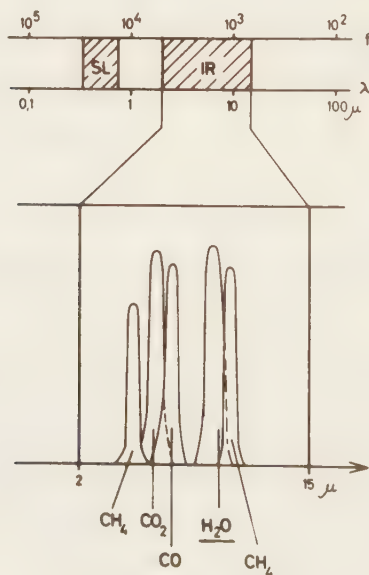
Aufgabe dieser Arbeit ist es deshalb, die insensible Hautwasserabgabe und den Widerstand bei hohen Wasserdampfdrucken zu messen und den Gleichgewichtspunkt zu ermitteln, um somit zur Aufklärung des Mechanismus der Perspiratio insensibilis beizutragen.

D. METHODIK

I. Meßprinzip

Zur Messung der Perspiratio insensibilis verwendeten wir den Infra-Rot-Gas-Analysator URAS I der Firma Hartmann und Braun, Frankfurt. Dieser dient zur selektiven Messung der Konzentration von Gasen und Dämpfen, die im infraroten Wellenbereich Strahlungsenergie absorbieren.

Mit Ausnahme der Edelgase und der aus gleichen Atomen aufgebauten zweiatomigen Gase (H_2 , O_2 , u.a.) hat jedes Gas spezifische Absorptionsbanden im infraroten Wellenbereich.



- Abb. 2 Schema des elektromagnetischen Strahlenspektrums und den IR-Absorptionsbanden einiger Gase
 SL = sichtbares Licht f = Frequenz
 IR = Infra-Rot-Bereich λ = Wellenlänge
 (nach Hartmann & Braun)

Schickt man einen Infra-rot-Strahl von der Wellenlänge λ und der Intensität I_0 längs eines Weges d durch ein Gas, das Licht der Wellenlänge λ absorbiert und dessen molekulare Konzentration c ist, so wird der Infra-rot-Strahl mit der Intensität I aus dem Gas austreten, ein physikalischer Vorgang, dessen quantitative Zusammenhänge das LAMBERT - BEER'sche Gesetz beschreibt:

$$I = I_0 \cdot e^{-\epsilon(\lambda) \cdot c \cdot d}$$

$\epsilon(\lambda)$ ist dabei ein Faktor, der von der Wellenlänge der Strahlung der Meßkomponente abhängt.

Nach diesem LAMBERT - BEER'schen Gesetz ist die Eichkurve des URAS (Abhängigkeit des Ausschlages von der Konzentration) nach einer Exponentialfunktion gekrümmt, die sich aber für kleine Teilstücke durch eine Gerade annähern läßt.

II. Meßapparatur

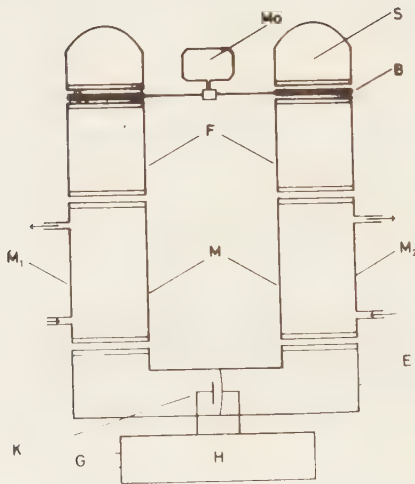


Abb. 3 Schema des Infra-rot-Absorptions-Schreibers
URAS I der Firma Hartmann und Braun

S = Strahler	E = Empfänger
B = Blendenrad	K = Membrankondensator
Mo = Motor	H = Verstärker
M = Meßküvetten	G = Gleichrichter
F = Filterküvetten	

Der URAS I besteht aus zwei Strahlengängen gleichen Aufbaus, dem Meßstrahlengang und dem Vergleichsstrahlengang:

Die von zwei elektrisch geheizten Drahtwendeln ausgesendete und durch zwei Parabolspiegel gebündelte Strahlung, bei der auf eine spektrale Zerlegung verzichtet wird, durchläuft die beiden Analysenkammern M_1 und M_2 . Die beiden Strahlengänge werden zur Ausschaltung von auf den Empfänger E wirkenden Störeinflüssen periodisch und gleichzeitig durch ein mit der Frequenz 6,25 Hz umlaufendes Blendenrad B unterbrochen.

Um nun trotz der fehlenden spektralen Zerlegung der Strahlung das Gerät für ein bestimmtes Gas empfindlich zu machen, wird ein selektiver Empfänger E verwendet, d.h. ein Empfänger, der die Strahlung nur in den Absorptionsbanden der Meßkomponente absorbiert.

Der Empfänger besteht aus zwei abgeschlossenen volumengleichen Kammern, die durch eine Metallmembran voneinander getrennt sind. Beide Kammern sind mit einem Gemisch aus der Meßkomponente und Argon gefüllt und zum statischen Druckausgleich durch eine Kapillare miteinander verbunden. Die in den charakteristischen Banden absorbierte Strahlungsenergie bewirkt periodische Temperatur- und Druckschwankungen in den beiden Kammern, deren Differenz Schwingungen der gespannten Membran hervorruft. Die Membran und eine ihr gegenüberliegende feste Gegenelektrode bilden zusammen den Membrankondensator K, der über einen Widerstand von 10^9 Ohm an einer Gleichspannungsquelle liegt. Die durch die Membranschwingungen hervorgerufenen Kapazitätsschwankungen bewirken einen periodischen Ladestrom, der über dem Hochohmwiderstand eine Wechselspannung erzeugt. Diese wird über einen Wechselstromverstärker H verstärkt, am Ausgang gleichgerichtet und an einem Meßinstrument angezeigt, das eine Ablesung der Druckdifferenzen des Meßgases in den beiden Meßküvetten in mm Hg erlaubt.

Da die Absorptionsbanden einzelner Gase sich zum Teil überlagern, können "Querempfindlichkeiten" von anderen Gasen, die sich im Meßgas befinden, die Meßergebnisse verfälschen. Um eine etwa vorhandene Querempfindlichkeit zu beseitigen, wird in den Strahlengang eine Filterkuvette F geschaltet, deren beide Kammern mit dem Gas gefüllt sind, das die Querempfindlichkeit hervorruft.

III. Versuchsanordnung

Um die für die Versuche erforderlichen Wasserdampfdrucke zu erhalten, leiten wir die Versuchsluft in einem geschlossenen Kreislauf dicht über die Oberfläche eines mit Wasser gefüllten Erlenmeyerkolbens (s.Abb. 4).

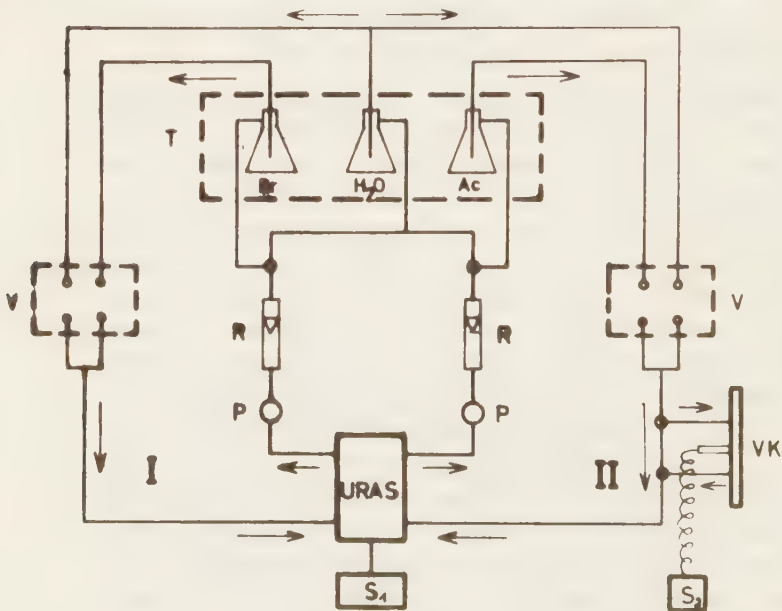


Abb. 4 Schema der Versuchsanordnung

T = Thermostat

P = Pumpen

V = Verteiler

VK = Versuchskammer

R = Rotameter

S₁ = Schreiber f. Wasserdampf

S₂ = Schreiber f. Temperatur

Dieser Erlenmeyerkolben steht in einem Thermostaten, so daß sich über der Wasserfläche im Kolben der Sättigungsdampfdruck der jeweiligen im Thermostaten herrschenden Temperatur einstellt. Die Strömungsgeschwindigkeit der Versuchsluft von 0,5 l/min wird durch zwei Aquariumpumpen P aufrechterhalten. Die Luft sättigt sich im gesamten System nach ca. 10 min auf den Sättigungsdampfdruck der jeweiligen im Thermostat herrschenden Temperatur auf. Durch diese einfache Anordnung können ohne irgendwelche Änderungen an der Versuchsanordnung alle gewünschten Dampfdrucke hergestellt werden.

Damit bei den von uns verwendeten hohen Dampfdrücken bis 42 mm Hg kein Wasserdampf im Schlauchsystem auskondensiert, umgeben wird die gesamte Versuchsanordnung mit einer Hülle aus Plastikfolie, die wir mit einem Warmluftgebläse beheizen.

Der Luftstrom aus dem Erlenmeyer 1 (H_2O , s. Abb. 4) wird aufgeteilt und durch die beiden Meßkreisläufe I und II geschickt. Nach dem Durchlaufen der Küvetten im URAS wird die Versuchsluft durch die beiden Pumpen P und die Strömungsmesser R zurück in den Erlenmeyer geleitet.

Diese Anordnung gilt analog für den Kreislauf der Eichlösungen (Erlenmeyer 2 und 3).

Die Versuchskammer VK ist im Nebenschluß in den Kreislauf II eingebaut. Die von uns verwendete ovale Kammer besitzt eine Fläche von 38 cm^2 .

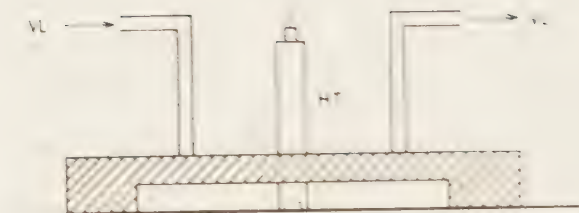


Abb. 5 Schema der Versuchskammer

VL = Versuchsluft

HT = Hautthermometer

Der etwa 1,5 cm breite Rand liegt mit Hilfe des Abdeck-Kittes Ab 22 der Firma Hottinger Baldwin Meßtechnik dicht auf der Haut auf. Dieser Abdeck-Kitt besteht aus einer zähen knetbaren Masse, die in Luft Temperaturen zwischen -50 und $+170^{\circ}\text{C}$ erträgt und hochbeständig gegen Wasser bis zu 80°C ist (17 a). In der Mitte der Kammer wurde ein Thermoelement angebracht, durch das in jeder Phase des Versuches die Hauttemperatur im Zentrum der Versuchsfläche registriert wird.

Abb. 6 zeigt schematisch die verschiedenen Meßstellungen der Versuchsanordnung.

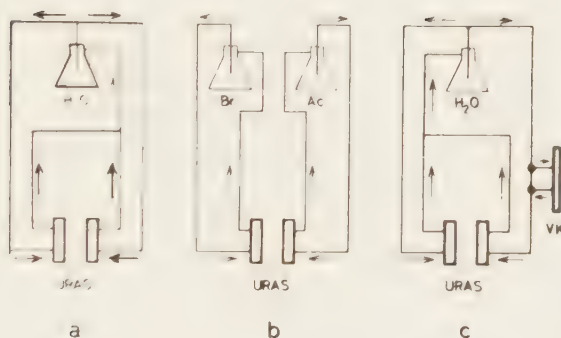


Abb. 6 Schema der einzelnen Meßstellungen der Versuchsanordnung

a = Nullstellung

VK = Versuchskammer

b = Eichstellung

c = Versuchsstellung

Stellung a zeigt die sogenannte Nullstellung, d.h. durch beide Kreisläufe strömt Luft aus dem Erlenmeyer 1 mit dem der jeweiligen Thermostat-Temperatur entsprechenden Sättigungsdampfdruck. Während dieser Stellung herrscht kein Wasserdampfdruckunterschied in den beiden Küvetten des URAS. Auf diese Weise erhalten wir unseren Nullwert.

Um einen absoluten Bezugspunkt für die Eichung zu erhalten, lassen wir in der Eichstellung b Luft mit dem bekannten Wasserdampfdruck zweier Salzlösungen, NaBr und Na-Acetat, durch die Meßkreisläufe strömen. Da der

Sättigungsdampfdruck dieser beiden Salzlösungen nur für 20° C bekannt ist, maßen wir den Sättigungsdampfdruck bei 25 und 30° C und stellten eine Eichkurve auf, aus deren Verlauf wir die Dampfdrucke bei den übrigen Temperaturen ablasen.

Zur Messung der Dampfdrucke leiteten wir ein bekanntes Volumen der beiden Salzlösungs-Kreisläufe (Abb. 6 b) durch mit CaSO_4 gefüllte Absorptionsröhrchen. Aus der pro Volumeneinheit absorbierten Wasserdampfmenge berechneten wir den in den Meßkreisläufen herrschenden Dampfdruck.

$$e = \frac{0,962 \cdot G}{1 + G \cdot k} W \quad [\text{mm Hg}]$$

$$0,962 \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^3 \cdot \text{mm Hg}} \right] = \text{Umrechnungskonstante von absoluter Feuchtigkeit in Dampfdruck}$$

$$G_W = \text{Gewicht der absorbierten Wasserdampfmenge} \left[\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right]$$

$$k_{27^\circ\text{C}, 720 \text{ mm Hg}} = 0,0014435$$

Dampfdrucke der Salzlösungen:

	20°	25°	30°
NaAcetat	13,2	18,0	24,5 $[\text{mm Hg}]$
NaBr	10,1	15,17	22,23 $[\text{mm Hg}]$

Die Eichkurve ist in Abb. 7 dargestellt

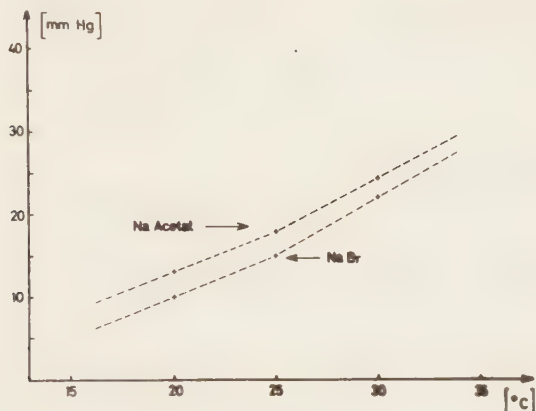


Abb. 7 Sättigungsdampfdrucke von NaAcetat und NaBr bei 20°, 25° und 30 °C.

Die Umschaltung der beiden Stellungen erfolgt durch den Verteiler V (s. Abb. 4). Da der URAS nur Dampfdruckunterschiede zwischen beiden Meßküvetten registriert, entspricht der Ausschlag des Anzeigegerätes zwischen Stellung a und b dem Dampfdruckunterschied der beiden Salzlösungen.

In Stellung c schalten wir in den Kreislauf II der Stellung a die Versuchskammer VK ein. Wir messen nun als Differenz zwischen beiden Küvetten den Wasserdampfdruckunterschied zwischen dem Meßkreislauf mit der Kammer (II) und dem Vergleichskreislauf (I). Eine Wasserdampfdruckdifferenz entsteht, wenn der Wasserdampfdruck im Meßkreislauf entweder höher wird (Wasserdampfabgabe

in den Meßkreislauf) oder niedriger wird (Wasserdampfverlust aus dem Meßkreislauf). Der URAS zeigt dabei einen entsprechenden Ausschlag nach positiv (Wasserdampfabgabe in den Meßkreislauf) oder negativ (Wasserdampfverlust aus dem Meßkreislauf) an.

IV. Versuchsbedingungen

Als Versuchspersonen dienten zwei Männer und zwei Frauen im Alter von 23 bis 25 Jahren.

Als Meßstelle wurde die proximale Beugeseite des Unterarmes gewählt. Diese Stelle hat sich in zahlreichen Versuchen zur Messung der insensiblen Hautwasserabgabe bewährt, da sie wenig behaart, frei von apokrinen Drüsen ist, eine geringe Schweißdrüsendichte aufweist und kein zu dickes Stratum corneum besitzt.

Die Versuche erfolgten in einem Raum mit einer annähernd konstanten Temperatur von 23 bis 24 °C und einer relativen Luftfeuchte von 35 - 40 %.

E. EIGENE UNTERSUCHUNGEN UND ERGEBNISSE

I. Versuchsplan:

Es wurden:

- 1 a) in neun Versuchsreihen an vier Personen (72 Versuche bis zu einer Stunde Dauer) die insensible Hautwasserabgabe (HWA) bei Wasserdampfdrucken von 13,6 bis 42,1 mm Hg entsprechend dem Sättigungsdampfdruck von 16 bis 35°C in der Versuchsluft gemessen und dabei
- b) der Gleichgewichtspunkt für die insensible HWA der einzelnen Versuchspersonen ermittelt,
- 2) in vier Serien an zwei Personen (21 Versuche) die insensible HWA bei Wasserdampfdrucken von 17,5 bis 38,8 mm Hg entsprechend 20 bis 33,5 ° C nach Beseitigung der CO₂-Querempfindlichkeit des URAS gemessen,
- 3) in 14 Versuchen mit Schutzringanordnung der Versuchskammer (zur Ausschaltung einer horizontalen Wasserdampfdiffusion in der Hornhaut) an zwei Personen
 - a) der Gleichgewichtspunkt
 - b) die insensible HWA beim Wasserdampfdruck des ohne Schutzringanordnung gefundenen Gleichgewichtspunktes bestimmt.

Bei allen Versuchen wurde die Hauttemperatur (HT) in der Versuchskammer laufend registriert.

II. Ergebnisse

- 1 a) Die Messung der insensiblen HWA bei den Wasserdampfdrucken von 13,6 bis 42,1 mm Hg ergab folgende Werte, die in Abb. 8 dargestellt sind.

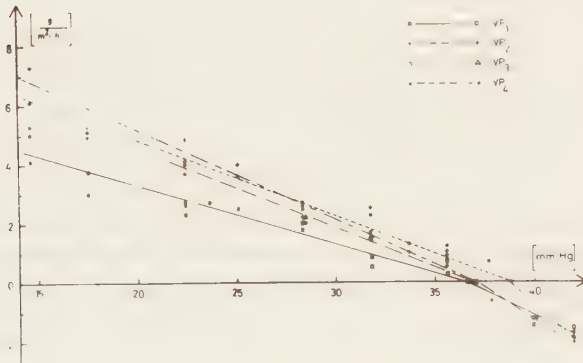


Abb. 8 Die insensible HWA bei hohen Wasserdampfdrucken

Wie aus dem Diagramm (Abb. 8) zu ersehen ist, nimmt die insensible HWA mit steigenden Wasserdampfdrucken in der Versuchsluft linear ab bis zum Gleichgewichtspunkt, also dem Wasserdampfdruck, bei dem die Wasserdampfbilanz in unserem System ausgeglichen ist, und somit die Meßapparatur keine Dampfdruckänderung in der Versuchsluft anzeigt.

b) Der Gleichgewichtspunkt lag für die einzelnen Versuchspersonen bei folgenden Wasserdampfdrücken:

	VP ₁	VP ₂	VP ₃	VP ₄	
Gleichgewichtspunkt	36,6	37,0	38,8	37,0	[mm Hg]
Hauttemperatur	34,6	35,3	35,4	35,1	[°C]
Dampfdruck bei Hauttemperatur	41,3	42,8	43,1	42,4	[mm Hg]

Berücksichtigt man die Hauttemperatur der einzelnen Versuchspersonen beim Gleichgewichtspunkt, so ergibt sich eine Differenz zwischen dem Sättigungsdampfdruck der Hauttemperatur und dem Gleichgewichtspunkt von 4,3 - 5,8 mm Hg (Abb. 9).

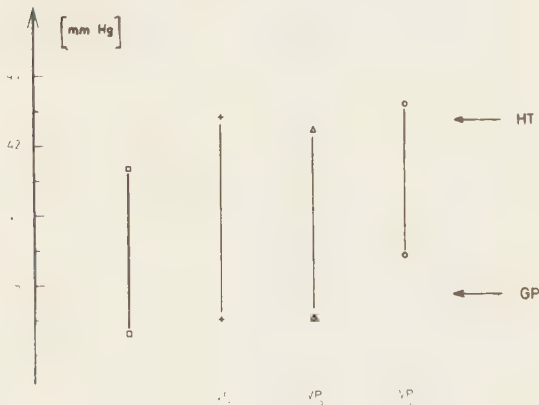


Abb. 9 Differenz zwischen dem Wasserdampfdruck des Gleichgewichtspunktes des insensiblen HWA und dem der Hauttemperatur

Bei Wasserdampfdrücken oberhalb des Gleichgewichtspunktes nimmt die Haut Wasserdampf auf, d.h. der Dampfdruck in der Versuchsluft wird geringer.

Aufschlußreich ist der zeitliche Verlauf der Meßkurven (Abb. 10). Danach nähert sich der Wert der HWA bei niedrigem Wasserdampfdruck in der Versuchsluft, entsprechend einer großen Dampfdruckdifferenz zwischen der Haut und der Luft, von höheren Dampfdrücken kommend langsam seinem Endwert (Abb. 10/1).

Bei höherem Dampfdruck in der Versuchsluft, entsprechend einer kleineren Dampfdruckdifferenz zwischen Haut und Versuchsluft, nähert sich die HWA von negativen Werten kommend ihrem Endwert an (Abb. 10/2).

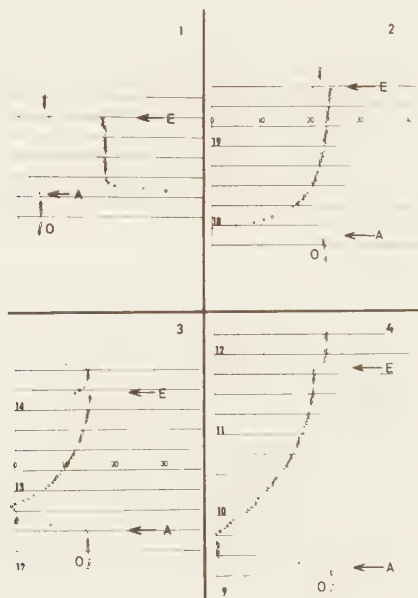


Abb. 10 Meßkurven (der zeitliche Verlauf der insens. HWA)
 10/1,2 Wasserdampfdruck in der Haut größer als in der Versuchsluft
 10/3 Gleichgewichtspunkt
 10/4 Wasserdampfdruck in der Haut kleiner als in der Versuchsluft

A = Versuchsbeginn

O = Nulllinie

E = Versuchsende

Ausschlaggebend für diesen Effekt ist der Wasserdampfdruck, der sich vor Versuchsbeginn über der Haut einstellt und entweder, wie in Abb. 10/1, über dem Wasserdampfdruck der Versuchsluft, oder, wie in Abb. 10/2, darunter liegt. In diesem Fall sättigen sich die äußersten trockenen Zellschichten des Stratum corneum erst mit Wasserdampf aus der Versuchsluft, ehe sich der Meßendwert einstellt.

Abb. 10/3 zeigt den Verlauf des Meßwertes beim Gleichgewichtspunkt. Abb. 10/4 zeigt die HWA bei Wasserdampfdrucken in der Versuchsluft oberhalb des Gleichgewichtspunktes. Der negative Endwert blieb auch in langdauernden Versuchen (bis zu einer Stunde) konstant.

Die insensible HWA ist unter der Annahme, daß ein Diffusionsvorgang vorliegt, abhängig von der Dampfdruckdifferenz zwischen der Haut und dem Meßkreislauf:

$$i = \lambda (e_H - e_M)$$

=====

$$i = \text{Hautwasserabgabe} \left[\frac{g}{m^2 \cdot h} \right]$$

$$\lambda = \text{Wasserdurchgangszahl} \left[\frac{g}{m^2 \cdot h \cdot mm \text{ Hg}} \right]$$

$$e_H = \text{Wasserdampfdruck i.d.Haut} \left[mm \text{ Hg} \right]$$

$$e_M = \text{Wasserdampfdruck im Meßkreislauf} \left[mm \text{ Hg} \right]$$

Wir haben deshalb für jeden Wert der HWA die Wasserdurchgangszahl λ berechnet (Abb. 11).

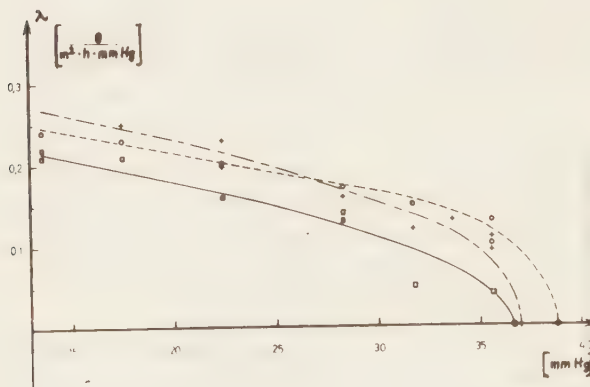


Abb. 11 Die Abnahme der Wasserdurchgangszahl $\lambda \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mm Hg}} \right]$ mit zunehmendem Wasserdampfdruck in der Versuchsluft

$$\lambda = \frac{1}{\text{Widerstand}}$$

Die Versuche mit vorgeschalteten CO_2 -Filterküvetten ergaben keine Änderung des Gleichgewichtspunktes der Hautwasserabgabe. Die übrigen Meßwerte lagen im Streubereich der ohne Filter gemessenen Hautwasserabgabewerte.

- 3) Um eine eventuelle in den Hornhautschichten stattfindende horizontale Wasserdampfdiffusion unter dem Versuchskammerrand hindurch auszuschalten, konstruierten wir auf Anregung von DIRNAGL und DREXEL eine Kammer mit Schutzringanordnung (Abb. 12).

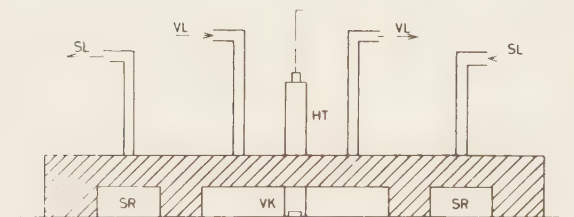


Abb. 12 Schema der Versuchskammer mit Schutzringanordnung

VK = Versuchskammer

VL = Versuchsluft

SR = Schutzring

SL = Luft im Schutzring
(gleicher Dampf-
druck wie VL)

- 3 a) Bei den Versuchen mit Schutzringanordnung wurden beim Wasserdampfdruck des vorher gefundenen Gleichgewichtspunktes von 36,6 bzw. 38,8 mm Hg ($\lambda = 0$) Hautwasserabgabewerte gemessen.

Setzt man die HWA bei diesen Dampfdrücken in Beziehung zu den Dampfdrücken der entsprechenden Hauttemperatur, so beträgt sie noch durchschnittlich

$$0,24 \left[\frac{E}{m^2 \cdot h.} \right] \quad \text{pro mm Hg Dampfdruckdifferenz, was einer Wasserdurchgangszahl } \lambda \text{ von}$$

$$0,24 \left[\frac{E}{m^2 \cdot h. \text{ mm Hg}} \right] \quad \text{entspricht.}$$

- b) Der neue Gleichgewichtspunkt bei dieser Versuchsanordnung lag im Durchschnitt nur noch 0,54 mm Hg unter dem Sättigungsdampfdruck der entsprechenden Hauttemperatur.

Die Meßkurve verläuft in gleicher Weise wie die Kurve in Abb. 10/3.

F. DISKUSSION

I. Methodik

Wir verwendeten für unsere Versuche eine ventilierte Kammer von 38 cm² Fläche. Die Messung der insensiblen Hautwasserabgabe eines solchen kleinen Areals hat gegenüber der "Ganzkörpermethode" (28) den Vorteil, daß man dazu eine Hautstelle wählen kann, die ein nicht zu dickes Stratum corneum und nur eine geringe Schweißdrüsendichte besitzt, frei von apokrinen Drüsen ist und nicht zum emotionellen Schwitzen neigt. Überdies können kleinere Hautflächen auch extrem hohen Wasserdampfdrücken ausgesetzt werden, ohne daß die Schweißdrüsen zu sezernieren beginnen, da die Sekretion der Schweißdrüsen zentral ausgelöst wird (4). Auf diese Weise kann die insensible Hautwasserabgabe einer

einheitlichen Hautfläche von genau bekannter Größe bestimmt werden. Nur so kann eine exakte quantitative Aussage über die Größe der insensiblen Hautwasserabgabe gemacht werden.

Durch eine ventilierte Kammer ist die kontinuierliche Messung der insensiblen Hautwasserabgabe unter immer gleichbleibenden Bedingungen gewährleistet.

Die Tracermethoden eignen sich für die Messung der Hautwasserabgabe in vivo nicht, da man zu diesem Zweck die ganze Versuchsperson mit radioaktivem Wasser inkorporieren müßte, um dann die Hautwasserabgabe lediglich einer kleinen Hautstelle zu messen. Sie sind von größerer Bedeutung für Versuche über die Wasseraufnahme in die Haut.

Das von uns verwendete Meßprinzip mit dem Infrarot-Gas-Analysator hat gegenüber den mit Absorptionsmitteln arbeitenden gravimetrischen Methoden den Vorteil, daß Veränderungen in der Wasserdampfbilanz nach beiden Richtungen (positiv und negativ) laufend registriert werden können. So kann man in jeder Phase des Versuches genaue Auskunft über die Wasserdampfbilanz erhalten.

Darüber hinaus ist es mit dem URAS möglich, immer im günstigsten Meßbereich zu bleiben, da er nur die Dampfdruckdifferenz zwischen beiden Meßküvetten registriert.

Die Anzeige des Gerätes ist vom Druck und der Temperatur des Meßgases abhängig. Deshalb ist, um Meßfehler zu vermeiden, ein Thermostat eingebaut, durch den das Meßgas sowie sämtliche mit einem Temperaturfehler behafteten Teile auf konstanter Temperatur gehalten werden.

Bei den verwendeten Strömungsgeschwindigkeiten von 30 l/h, bei der kein Druckabfall in den 5 mm weiten Leitungen erfolgt, ist die Messung strömungsunabhängig.

Eine gewisse Anzeigeverzögerung entsteht dadurch, daß das Meßgas die Analysenkammer und das Schlauchsystem erst ausfüllen muß. Bei unserer Versuchsanordnung beträgt diese Verzögerung maximal 90 sec.

Bei Berücksichtigung aller Faktoren beträgt die durch die Maßapparatur bedingte Reproduzierbarkeit des Meßwertes etwa 2 % des Meßbereichendwertes (13).

II. Besprechung der eigenen Ergebnisse:

1) Nach unseren Versuchen nimmt

die insensible Hautwasserabgabe mit steigenden Wasserdampfdrücken in der Versuchsluft linear ab, bis zum gefundenen

Gleichgewichtspunkt, der durchschnittlich 5 mm Hg unter dem Wasserdampfdruck der Hauttemperatur lag (Abb. 9).

Die Wasserdurchgangszahl $\lambda \left[\frac{g}{m^2 \cdot h \cdot mm \text{ Hg}} \right]$ nimmt mit steigenden Dampfdrücken in der aus Abb. 14 ersichtlichen Weise ab und erreicht den Wert 0 bei einer noch bestehenden Wasserdampfdruckdifferenz zwischen Haut und Versuchsluft von 5 mm Hg.

$$\lambda = \frac{i}{\Delta e}$$

2) Der Verdacht einer bestehenden Querempfindlichkeit,

hervorgerufen durch das CO_2 in der Versuchsluft, dessen Absorptionsbande im IR-Bereich bei $3,8 \mu$ (13) und damit in der Nähe der $2,9 \mu$ -Bande von H_2O (s. Abb. 2) liegt, ließ sich in unseren Versuchen nicht bestätigen.

3) Zur Erklärung des Gleichgewichtspunktes von 5 mm Hg unter dem Wasserdampfdruck der Hauttemperatur äußerten DIRNAGL und DREXEL die Vermutung, daß nach der in Abb. 13 gezeigten Weise Wasserdampf in den obersten Schichten des Stratum corneum horizontal unter dem Versuchskammerrand nach außen diffundieren und so aus dem Meßkreislauf verloren gehen könnte.

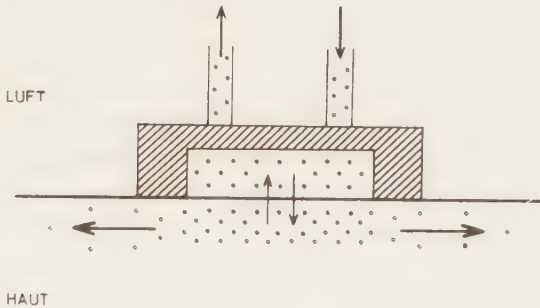


Abb. 13 Schematische Darstellung der horizontalen Wasserdampfdiffusion in der Hornhaut

Da die Hautoberfläche in der Versuchskammer sich dem hohen Dampfdruck der Versuchsluft angleicht, besteht während des Versuches ein Konzentrationsgefälle zwischen der nun gesättigten Haut in der Versuchskammer und den trockneren, der Raumluft ausgesetzten Hautschichten, die an die Kammer angrenzen. Diese Erscheinung bezeichnen wir als "Randeffekt".

Den Beweis für diese Annahme lieferten die Versuche mit Schutzringanordnung, bei denen die Haut unmittelbar um die Meßkammer den gleichen Wasserdampfdrücken ausgesetzt wurde wie die Haut in der Kammer. Dadurch glich sie sich in der gleichen Weise dem Dampfdruck der Versuchsluft an wie die Haut in der Kammer. Somit bestand kein horizontales Konzentrationsgefälle mehr, so daß kein Wasserdampf unter dem Rand der Meßkammer hindurchdiffundieren konnte.

Wie zu erwarten war, stieg der Gleichgewichtspunkt bei dieser Versuchsanordnung auf Wasserdampfweite, die im Mittel nur noch 0,54 mm Hg unter dem Sättigungsdruck der Hauttemperatur lagen.

Aus dem Wert der Hautwasserabgabe beim Dampfdruck der Hauttemperatur mit und ohne Schutzringanordnung läßt sich auch die absolute Größe des Randeffektes berechnen:

Der durchschnittliche Wert der Hautwasserabgabe beim Dampfdruck der Hauttemperatur betrug

$$\begin{array}{ll} \text{ohne Schutzring} & - 1,68 \left[\frac{g}{m^2 \cdot h} \right] \\ \text{mit Schutzring} & - 0,20 \left[\frac{g}{m^2 \cdot h} \right] \end{array}$$

Das bedeutet, daß die Differenz von 1,48 $\left[\frac{g}{m^2 \cdot h} \right]$ der bei Hauttemperatur durch den Randeffekt verlorenen Wasserdampfmenge entspricht.

Dieser Wert ist berechnet auf die Fläche unserer Versuchskammer. Wenn wir ihn umrechnen auf die für die Erscheinung des Randeffektes verantwortliche Fläche, die sich aus dem Umfang der Versuchskammer und der Dicke des Stratum corneum ergibt, können wir einen Vergleich zwischen der senkrechten und der horizontalen Wasserdampfdurchlässigkeit des Stratum corneum ziehen.

Die durch den Randeffekt bewirkte Dampfdruckänderung e in unserem Meßkreislauf beträgt 0,2 mm Hg.

Der Wasserdampfverlust durch den Randeffekt sei mit

$$W_R \left[\frac{g}{m^2 \cdot h} \right] \text{ bezeichnet.}$$

$$W_R = e.K. \frac{V}{t} \cdot \frac{1}{F} \left[\frac{g}{m^2 \cdot h} \right]$$

$$e.K = 0,19 \left[\frac{g}{m^3} \right]$$

$$\frac{V}{t} = 0,03 \left[\frac{m^3}{h} \right]$$

$$\frac{1}{F} = 3,3 \cdot 10^{-6} \left[m^{-2} \right]$$

für eine Schichtdicke des Str.corn. von 15μ

$$W_R = 17,3 \left[\frac{g}{m^2 \cdot h} \right]$$

Der Dampfdruckunterschied zwischen Haut und Raumluft beträgt bei einem Dampfdruck von 42,5 mm Hg in der Haut und 8,5 mm Hg im Raum ($23^\circ C$, 40 % rel. Feuchte) 34 mm Hg.

Die horizontale Wasserdampfdurchlässigkeit λ_R errechnet sich damit zu

$$\lambda_R = \frac{17,3}{34} \approx 0,5 \left[\frac{g}{m^2 \cdot h \cdot mm \text{ Hg}} \right]$$

Die senkrechte Durchlässigkeit beträgt zum Vergleich ca. 0,2

$$\left[\frac{g}{m^2 \cdot h \cdot mm \text{ Hg}} \right]$$

Das bedeutet eine etwa um den Faktor 2,5 größere Durchlässigkeit in horizontaler Richtung. Für eine gültige Aussage in dieser Hinsicht käme es auf eine genaue Dickenbestimmung des Stratum corneum an.

III. Gegenüberstellung der eigenen Ergebnisse mit der Literatur

In der Literatur liegen über den Widerstand, den die Haut der Wasserdampfdiffusion entgegengesetzt, verschiedene Ergebnisse und Ansichten vor.

So fanden KAUFMANN und Mitarbeiter (18, 19, 20), BUETTNER (6), HÄBERLEIN (11) eine Änderung des Diffusionswiderstandes bei Änderung des Wasserdampfdruckes in der Versuchsluft.

Nach Meinung von KAUFMANN und LÜTTKE (18) und KAUFMANN, THAUER und ZÖLLNER (19) beruht die Änderung des Diffusionswiderstandes darauf, daß die Ruhesekretion der Schweißdrüsen mit steigendem Wasserdampfdruck in der Versuchsluft zunimmt. KAUFMANN (20) forderte eine Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperaturlage des Körpers unabhängig vom Wasserdampfdruck der Versuchsluft.

BUETTNER (6) und HÄBERLEIN (11) führen die von ihnen gefundene Widerstandsänderung auf einen Strukturwandel der Zellen im Stratum corneum zurück. Sie nehmen an, daß die Zellen in der Epidermis mit steigendem Wasserdampfgehalt in der Versuchsluft mehr Kugelgestalt annehmen, sich dadurch die Interzellularräume vergrößern, und infolgedessen der Wasserdampfdiffusion durch die Epidermis ein geringerer Widerstand entgegengesetzt wird.

Im Gegensatz dazu führen SZAKALL (27), HEERD (15, 16) die Hautwasserabgabe auf einen Diffusionsvorgang mit g l e i c h b l e i b e n d e m Widerstand zurück. HEERD arbeitete allerdings nur in einem Bereich von 3 - 23 mm Hg Wasserdampf in der Versuchsluft. In diesem Bereich ergaben sich auch aus unseren Versuchen ohne Schutzringanordnung nur geringe Widerstandsänderungen (Abb. 11).

Erst bei höheren Wasserdampfdrucken fanden wir ein stärkeres Ansteigen des Widerstandes

$$R = \frac{\Delta e}{i} \left[\frac{\text{mm Hg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h}}{\text{g}} \right] \quad \Delta e = \text{Dampfdruckdifferenz} \left[\frac{\text{mm Hg}}{\text{mm Hg}} \right]$$

$$i = \text{Hautwasserabgabe} \left[\frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \right]$$

bis zu dem gefundenen Gleichgewichtspunkt, der im Mittel 5 mm Hg unter dem Sättigungsdampfdruck der Hauttemperatur lag. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem von BUETTNER gefundenen Wert von 90 % "neutral relative humidity" bei 35 ° C Hauttemperatur.

Dieses Ergebnis läßt drei Deutungsmöglichkeiten zu:

- 1) Der Diffusionswiderstand der Haut wächst tatsächlich in der in Abb.11 gezeigten Weise.

Dieser Möglichkeit messen wir keine Bedeutung zu, da im Bereich der von uns angewandten hohen Dampfdrucke eine weitere Änderung der Zellgestalt nach HÄBERLEIN und BUETTNER unwahrscheinlich ist.

- 2) Es spielt ein aktiver Transportmechanismus eine Rolle. Bestünde bei dem gefundenen Gleichgewichtspunkt von 5 mm Hg unter dem Sättigungsdampfdruck der Hauttemperatur ein Diffusionsgleichgewicht zwischen Haut und Versuchsluft, so müßte man nach BUETTNER eine Osmolarität der Hornhaut von 4 Osmol annehmen. Dieser Wert übersteigt die tatsächliche Osmolarität der Haut bei weitem. Deswegen fordert BUETTNER einen aktiven Transportmechanismus in Form einer Pumpe, die Wasserdampf entgegen einem Konzentrationsgefälle in die Haut transportiert.

- 3) Es geht auf irgendeine Weise Wasserdampf aus dem Meßkreislauf verloren.

DIRNAGL und DREXEL äußerten als erste die Vermutung, daß Wasserdampf in den obersten Schichten des Stratum corneum horizontal unter dem Versuchskammerrand hindurchdiffundiert (Abb. 13). TREGGEAR (29), der ähnliche Überlegungen anstellte, ohne sie aber experimentell zu prüfen, nennt diesen Wasserdampfverlust "sideways leak". Einen ähnlichen Effekt beobachteten POIESZ (23) und PRATZEL (24) an unserem Institut bei Versuchen mit wassergefüllten Kammern und bezeichneten ihn als "Spreiteffekt".

Durch die Ergebnisse dieser Versuche erweist sich das Ansteigen des Diffusionswiderstandes und der ohne Schutzringanordnung gefundene Gleichgewichtspunkt als Scheineffekt. Die Differenz zwischen dem Sättigungsdampfdruck der Hauttemperatur und dem in Schutzringanordnung gefundenen Gleichgewichtspunkt von nur noch 0,54 mm Hg läßt sich durch die Dampfdruckdepression erklären, die durch die Osmolarität der Haut verursacht wird.

Die Dampfdruckdepression der Interzellularflüssigkeit beträgt unter unseren Versuchsbedingungen 0,42 mm Hg (10, 12). Auch wenn man von der Konzentration von $2-3 \cdot 10^{-6}$ Mol/cm² osmotisch aktiver Substanz, wie sie von PRATZEL (24) auf Grund von Versuchen mit Eluation von Hornhautschichten angegeben wird, und einer maximalen Wasseraufnahme von 300 % (3,6) ausgeht, errechnet sich für unsere Versuche eine osmolare Konzentration der Hornhaut von 300 - 500 mOsmol.

Dieser Wert entspräche einer Dampfdruckdepression von 0,42 - 0,59 mm Hg.

Der Wasserdampfdruck der Haut liegt demzufolge ca. 0,50 mm Hg unter dem Sättigungsdampfdruck der Hauttemperatur. Der von uns gefundene Gleichgewichtspunkt

in den Versuchen mit Schutzringanordnung befindet sich also bei dem in der Hornhaut herrschenden Wasserdampfdruck.

Da der durch diese Versuche bewiesene "Randeffekt" ein passiver Diffusionsvorgang ist, gilt für ihn die Formel

$$i_R = \lambda_R \cdot (e_H - e_R)$$

i_R = die durch den Randeffekt verlorene Wassermenge

λ_R = die Wasserdurchgangszahl

e_H = Dampfdruck im Meßkreislauf

e_R = Dampfdruck in der Haut um die Meßkammer

Die durch den Randeffekt verlorene Wasserdampfmenge i_R wird demnach mit steigendem Wasserdampfdruck im Meßkreislauf größer. Die Wasserdampfabgabe aus der Haut in den Meßkreislauf nimmt mit zunehmendem Wasserdampfdruck in der Versuchsluft ab (Abb. 14)

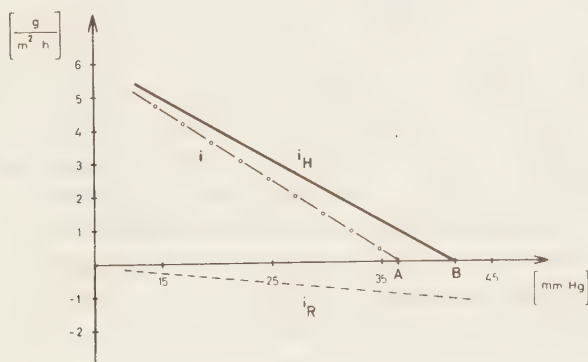


Abb. 14 Die durch horizontale Diffusion in der Hornhaut vorge-täuschte und die tatsächliche insensible Hautwasser-abgabe
 i = vorgetäuschte Hautwasserabgabe (ohne Schutzring-anordnung)
 i_R = Wasserdampfverlust durch horizontale Diffusion
 i_H = tatsächliche Hautwasserabgabe

Die tatsächliche Hautwasserabgabe i_H resultiert also aus der Addition der durch den Rand verlorenen Wasserdampfmenge i_R und der ohne Schutzringanordnung gemessenen Hautwasserabgabe i .

$$i_H = i + i_R$$

Daraus geht hervor, daß die tatsächliche Hautwasserabgabe mit sinkender Wasserdampfdruckdifferenz zwischen Haut und Versuchsluft linear abnimmt und ihren Gleichgewichtspunkt bei dem in der Hornhaut herrschenden Dampfdruck hat.

Die insensible Hautwasserabgabe ist demnach ein passiver Diffusionsvorgang.

Für die Annahme eines aktiven Transportmechanismus, wie ihn BUETTNER fordert, besteht kein Anhalt.

Der Diffusionswiderstand ist im ganzen von uns gemessenen Bereich von 16-42 mm Hg annähernd konstant, wie es SZAKALL und HEERD angenommen hatten. Allerdings ist seine Größe von Versuchsperson zu Versuchsperson verschieden (unterschiedliche Steigung der Hautwasserabgabe - Kurven in Abb. 8).

WEILER (31) fand eine niedrigere Hautwasserabgabe und damit höheren Diffusionswiderstand bei Männern als bei Frauen. Die Ergebnisse unserer Versuche stehen dazu im Widerspruch. Allerdings erlaubt die geringe Zahl von Versuchspersonen sowohl bei WEILER als auch bei uns keine gültige Aussage. Wahrscheinlicher und mit dem Vorgang einer passiven Diffusion besser zu vereinbaren ist die Ansicht TRONNIERS (30). Er erklärt die verschiedenen großen Diffusionswiderstände für die insensible Hautwasserabgabe physikalisch mit einer verschiedenen Dicke der Epidermis, was also doch wiederum für eine Geschlechtsabhängigkeit sprechen würde.

G. ZUSAMMENFASSUNG:

- 1) Untersucht wurde die insensible Hautwasserabgabe bei hohen Dampfdrucken mit dem Ziel, den Mechanismus der Hautwasserabgabe zu klären.
- 2) Es wurden 15 Versuchsreihen an 4 Personen durchgeführt.
- 3) Die Messungen wurden mit dem Infrarot-Gas-Analysator URAS I der Firma Hartmann & Braun vorgenommen. Gemessen wurde an der proximalen Beugeseite des Unterarmes mit einer ventilierten Versuchskammer von 38 cm² Fläche.
Wir verwendeten
 - a) eine herkömmliche ventilierte Versuchskammer
 - b) eine Versuchskammer mit Schutzringanordnung, um einen seitlichen Wasserdampfverlust durch die Haut zu verhindern.
- 4) a) Mit der herkömmlichen Kammer fanden wir eine lineare Abnahme der insensiblen Hautwasserabgabe mit sinkender Wasserdampfdruckdifferenz zwischen Haut und Versuchsluft.
b) Der Gleichgewichtspunkt der insensiblen Hautwasserabgabe lag im Mittel 5 mm Hg unter dem Dampfdruck der Hornhaut.
- 5) a) Mit der Versuchskammer mit Schutzringanordnung fanden wir ebenfalls eine lineare Abnahme der insensiblen Hautwasserabgabe mit sinkender Dampfdruckdifferenz.
b) Der Gleichgewichtspunkt der insensiblen Hautwasserabgabe lag nun bei dem in der Hornhaut herrschenden Dampfdruck
- 6) Der Diffusionswiderstand blieb in unserem Meßbereich vom 16 - 42 mm Hg für jede Versuchsperson konstant.
- 7) Die insensible Hautwasserabgabe ist ein passiver Diffusionsvorgang.

H. LITERATURVERZEICHNIS

1. ALBERT, R.E. und PALMES, E.D.: Infra-red-gas-analyzer
J. Appl. Physiol. 4, 208 (1951)
2. BETZ, E.: Die kombinierte qualitative und
quantitative Bestimmung der lokalen
Hautwasserabgabe
Arch. f. phys. Ther. 4, 312-317 (1955)
3. BLANK, I.: Factors, which influence the water
content of the stratum corneum
J. Invest. dermat. 6, 433-440 (1952)
4. BUETTNER, K.J.: Diffusion of water and water vapour
through human skin
J. Appl. Physiol. 6, 223 (1953)
5. BUETTNER, K.J.: Diffusion of liquid water through
human skin
J. Appl. Physiol. 14, 261 (1959)
6. BUETTNER, K.J.: On the transfer function of human skin
Dept. of Met. and Clim. Annual report 1960
7. BURCH, G.E.: and WINSOR, T. Diffusion of water through
dead plantar, palmar and tarsal human skin
and through toe nails
Arch. Dermat. et Syph. 53, 39 (1946)
- 8.⁺DIRNAGL, K. und DREXEL, H.: Bilanzuntersuchungen
zum Transport von Wasser und in Wasser
gelösten Mineralstoffen durch die Haut
Pflüg. Arch. 272, 84 (1960)
9. FREY, M.v. und REIN, H.: Physiologie der Haut in
JADASSOHN, J. Handbuch d. Haut- und
Geschlechtskrankheiten I/2 S. 14
Berlin: J. Springer 1929
10. DOCUMENTA GEIGY: Wissenschaftliche Tabellen, 6. Aufl.
Geigy AG. 1960
- 11.⁺HÄBERLEIN, Diss. im Druck

12. HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS, 43. Aufl. 1961/62
The Chemical Rubber Publishing Co.,
Cleveland/Ohio, USA
13. HARTMANN & BRAUN: URAS I Gebrauchsanweisung
14. HEERD, E. und OHARA, K.: Ein Gerät zur ununterbrochenen
Messung der Perspiratio insensibilis
kleiner Hautflächen
Arch. Phys. Ther. 272, 237-46 (1961)
15. HEERD, E. und OHARA, K.: Untersuchungen über die Wasser-
dampfabgabe kleiner Hautflächen des
Menschen
Pflüg. Arch. 276, 32 - 41 (1962)
16. HEERD, E. und OPPERMANN, G.: Der Einfluß der Hauttempera-
tur auf die Perspiratio insensibilis
Pflüg. Arch. 291, 163-173 (1966)
17. HENSEL, H.: Die intrakutanen Temperaturbewegungen
bei Einwirkung äußerer Temperaturreize
Pflüg. Arch. 252, 146 (1950)
- 17a. HOTTINGER BALDWIN ME: TECHNIK GMBH Darmstadt:
Druckschrift 214.01-1002
18. KAUFMANN, W. und LÜTTKE, A.: Zum Mechanismus der Hautwas-
serabgabe
Arch. Phys. Ther. 5, 394-96 (1955)
19. KAUFMANN, W., THAUER, R. und ZÖLLNER, G.: Der insensible
Gewichtsverlust als Funktion der Um-
weltbedingungen. Der Wasserdampfdruck
der Hautoberfläche in Abhängigkeit von
Temperatur und Wasserdampfdruck der um-
gebenden Luft im thermoindifferenten
Bereich
Arch. Phys. Ther. 261, 189-98 (1955)
20. KAUFMANN, W., KLUSMANN, F.W. und LÜTTKE, A.: Der insen-
sible Gewichtsverlust als Funktion der
Umweltbedingungen. Die Hautwasserabgabe
des Hundes im Indifferenzbereich
Pflüg. Arch. 265, 575-86 (1958)

21. KJAERGAARD, A.R.: Perfusion of isolated dog skin, using the saphenous artery
J. Invest. Derm. 22; 135-41 (1954)
22. PIRLET, K.: Eine Methode zur fortlaufenden Registrierung der Hautwasserabgabe in kleinen Hautarealen
Pflüg.Arch. 273, 182-89 (1961)
- 23⁺ POIESZ, D.: Experimentelle Untersuchungen zur Fehermöglichkeit bei der Bestimmung der Wasseraufnahme der Haut nach der Differenzmethode und deren Deutung als Spreiteffekt
Diss., München 1966
- 24⁺ PRATZEL, H.: Inst. f. Baln. und Klim. d. Univ. München
Mündliche Mitteilung
25. STEIGLEDER, G.K. und MC CARTHY: Strukturanalytische Untersuchungen an gesunder und kranker Haut unter besonderer Berücksichtigung der Hornschicht
Arch. f. Klin. und Exp. Derm. 220, 8-18 (1964)
26. SZAKALL, A.: Über die Eigenschaften, Herkunft und physiologischen Funktionen der die H^+ -Konzentrationen bestimmenden Wirkstoffe in der verhornenden Epidermis
Arch. Klin. Exp. Derm. 201, 331 (1955)
27. SZAKALL, A.: Über die Morphologie und Physiologie der Wasserbarriere in der lebenden menschlichen Epidermis
Pflüg. Arch. 266, 16 (1957)
28. THAUER, R., ZÖLLNER, G. und KAUFMANN, W.: Der insensible Gewichtsverlust als Funktion der Umweltbedingungen. Der Anteil von Atmung und Haut an der Gesamtperspiration
Pflüg. Arch. 260, 1 - 23 (1954)

29. TREGGEAR, R.T.: Physical function of skin
Academic Press London and New York 1966
30. TRONNIER, H.: Zur Perspiratio und ihrer Bedeutung
Die Medizin. Welt 34,1-19-(1964)
- 31[†]. WEILER, H.: Die insensible Hautwasserabgabe in Ab-
hängigkeit von der lokalen Hauttemperatur,
der allgemeinen thermoregulatorischen
Situation und weiteren Faktoren
Diss., München 1967
32. ZOLLNER, G., THAUER, R. und KAUFMANN, W.: Der insensible
Gewichtsverlust als Funktion der Um-
weltbedingungen. Die Abhängigkeit der
Hautwasserabgabe von der Hauttemperatur
bei verschiedenen Temperaturen und Wasser-
dampfdrücken der umgebenden Luft
Pflüg. Arch. 260,261-73 (1955)

Herrn Prof. Dr.H.v. Braunbehrens möchte ich für die Übernahme des Referates, Herrn Priv.-Doz. Dr.H. Drexel und Herrn Dipl.-Phys. K. Dirnagl für die Überlassung des Themas dieser Arbeit, ihre freundliche Unterstützung und die wertvollen Anregungen danken. Ebenso danke ich Herrn Dipl.-Chem. H. Pratzel für die zahlreichen Ratschläge zur Durchführung des experimentellen Teils.

Lebenslauf

Ich, Claudia Till, wurde am 25. Juni 1942 als Tochter des Universitätsprofessors Dr. Rudolf Till und seiner Frau Marietta, geb. Bedall, in München geboren.

1948 trat ich in die Volksschule in Hinterzarten im Schwarzwald ein. 1952 - 1956 besuchte ich das dortige Gymnasium, 1956 - 1960 das Gymnasium in Schondorf, und 1960 - 1962 das Elsa-Brandström-Gymnasium in München, wo ich im Juli 1962 das Abitur ablegte.

Anschließend begann ich das Medizinstudium an der Universität München. Im April 1965 legte ich hier die Ärztliche Vorprüfung ab. Nach zwei Auslandssemestern in Wien 1965/66 kehrte ich an die Universität München zurück und meldete mich hier im Frühjahr 1968 zur Ärztlichen Prüfung.

